文章编号:1001-3873(2021)03-0346-07 DOI:10.7657/XJPG20210311

珠江口盆地油气勘探历程与启示

张文昭,张厚和,李春荣,严寒,李凡异,郝婧
(中海油研究总院有限责任公司,北京 100028)

摘 要:珠江口盆地油气勘探经历40余年,综合考虑勘探策略及地质认识转变、勘探工作量、领域性突破、储量增长等因素,其勘探历程可划分为3个阶段:围绕隆起带大构造的早期探索阶段(1974—1984年)、围绕富烃凹陷中—浅层的背斜勘探阶段(1985—1999年)和围绕深水深层的油气并举复式勘探阶段(2000年至今)。勘探实践中探索出了多项创新性地质认识、理论和技术,如油气差异富集及复式聚集理论、多源成烃和复合输导的晚期成藏模式、低位体系域深水扇认识、"源-汇-聚"综合评价体系、近源供烃、联合输导成藏模式等,丰富和发展了油气勘探理论,引领了珠江口盆地油气勘探的持续突破。

关键词:珠江口盆地;勘探历程;勘探启示;地质认识;成藏模式
中图分类号:TE132 **文献标识码**:A

Petroleum Exploration History and Enlightenment in Pearl River Mouth Basin

ZHANG Wenzhao, ZHANG Houhe, LI Chunrong, YAN Han, LI Fanyi, HAO Jing
(Research Institute, CNOOC, Beijing 100028, China)

Abstract: Oil and gas exploration in the Pearl River Mouth basin has been going on more than 40 years. Considering the changes of exploration strategy and geological understanding, exploration workload, breakthrough and reserve growth, the exploration process can be divided into three stages: (1) Early exploration stage (1974-1984) aiming at large structures in the uplift belt; (2) Anticline exploration stage (1985-1999) focusing on middle and shallow layers in the hydrocarbon-rich sags; and (3) Composite exploration stage (since 2000) paying same attention to oil and gas, deep-water regions and deep layers. A number of innovative geological understandings, theories and technologies have been formed through exploration practices, such as differential hydrocarbon enrichment and composite accumulation theory, the late-stage hydrocarbon accumulation pattern with multi-source hydrocarbon generation and complex transformation, the recognition of deep-water fan in lowstand system tract, the comprehensive evaluation system of "source-migration-accumulation" and the reservoir forming pattern of "near-source hydrocarbon supply with multiple migration networks". These understandings have enriched the oil and gas exploration theories, and led to continuous breakthroughs of oil and gas exploration in the Pearl River Mouth basin.

Keywords: Pearl River Mouth basin; exploration history; exploration enlightenment; geological understanding; hydrocarbon accumulation model

珠江口盆地是中国近海油气资源丰富的盆地之一,大规模的油气勘探活动始于20世纪80年代初。在40余年的勘探历程中,盆地的勘探领域由浅水、浅层和新近系,逐步拓展到深水、深层、古近系以及中生界潜山,发现了一批高产的大中型油气田,已成为中国近海重要的油气生产基地。

珠江口盆地油气勘探经历了从无到有、从低谷走向辉煌的曲折过程,系统梳理其勘探历程和思路,总结其勘探经验及启示,将对今后的油气勘探工作有一定指导意义。前人对珠江口盆地勘探历程的划分,多以作业经营方式及勘探对象的变化为依据,本文以勘探策略及地质认识转变为基础,以勘探工作量、领域性突破及储量增长规律为依据,将珠江口盆地勘探历程划分为3个阶段,并梳理总结取得的油气地质理论认识和重大勘探突破,以期对未来油气勘探工作有所裨益[1-2]。

1 勘探概况

珠江口盆地是新生代被动大陆边缘伸展型盆地,大致呈北东—南西向展布(图1),面积约24.97×10^4 km^2,是南海北部最大的含油气盆地[3]。盆地内水深50~2 000 m,其中珠一和珠三坳陷水深100 m左右,珠二坳陷主体水深300~1 800 m。

珠江口盆地自20世纪80年代初开展大规模油气勘探开发以来,在"定凹选带"、"源控找油,富洼勘探"、"挺进深水,油气并举"等一系列勘探战略的指导

收稿日期:2021-01-05 修订日期:2021-01-19
基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05016-006)
第一作者:张文昭(1988-),女,河南南阳人,工程师,硕士,石油地质,(Tel)010-84520479(E-mail)zhangwzh12@cnooc.com.cn

下,先后在珠一坳陷、珠二坳陷、珠三坳陷、东沙隆起和神狐隆起上钻探了大批探井,发现了中新统粤海组、韩江组和珠江组,渐新统珠海组,始新统恩平组和文昌组油气层及中生界油气层。盆地内油气田围绕富生烃凹(洼)陷分布,且呈现"北油南气"的分带性,石油主要分布在盆地北部的珠一坳陷和东沙隆起,而天然气主要分布在白云凹陷及其北坡的番禺低隆起[4]。

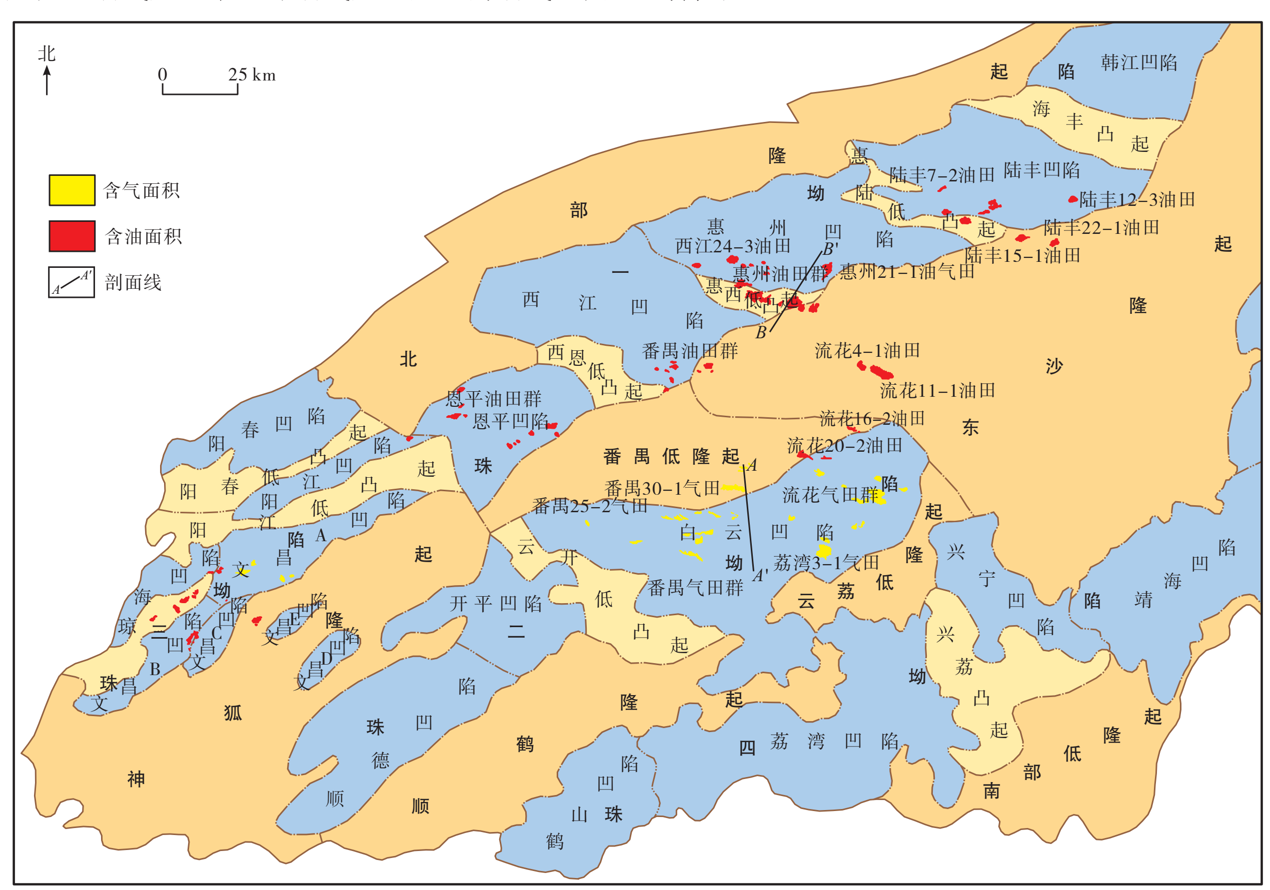


图1　珠江口盆地构造单元划分及油气田分布

Fig. 1　Division of tectonic units and distribution of oil and gas fields in Pearl River Mouth basin

截至2019年底,珠江口盆地内共有探井600多口,钻探各类型圈闭400多个,发现油气田77个,累计探明石油储量超10×10^8 t,探明天然气储量达$1\,800\times10^8$ m^3。盆地现已建成南海北部第一大油气生产基地,累计生产石油3×10^8 t,自1996年至今已连续24年稳产超过$1\,000\times10^4$ t,累计生产天然气350×10^8 m^3。

2　勘探历程

综合考虑勘探策略及地质认识的转变、勘探工作量、领域性突破及储量增长等因素,珠江口盆地的油气勘探历程可划分为3个阶段(图2):围绕隆起带大构造的早期探索阶段(1974—1984年)、围绕富烃凹陷中—浅层的背斜勘探阶段(1985—1999年)和围绕深水深层的油气并举复式勘探阶段(2000年至今)。

2.1　围绕隆起带大构造的早期探索阶段(1974—1984年)

20世纪70年代,在珠江口盆地开展了大量的地质地球物理调查,共计完成二维地震采集2.8×10^4 km,重力采集2.8×10^4 km,航磁12.7×10^4 km,海磁4.8×10^4 km,划分了构造单元,初步评价了含油气远景。1977—1980年,原地矿部在6个构造上钻探井6口,其中1979年完钻的位于西江凹陷番禺3-1构造上的珠5井,钻遇了中新统珠江组砂岩油层,获高产油流,证明了珠江口盆地具有油气成藏条件和良好勘探前景。

20世纪80年代,随着南海油气勘探对外开放政策的实施,珠江口盆地进入了对外合作勘探阶段,经历了五大外国公司大规模地球物理普查及先后4轮合作勘探的对外招标,并开展了油气资源评价工作,评价出各类远景构造262个,预测石油储量40×10^8 t。

此阶段,在外国石油公司"海相生油"地质认识和"以盆地中央隆起带巨型构造为目标"勘探策略的指导下,1983年对珠江口盆地8个大型构造实施了钻探,然而除了发现3个含油构造外,其余构造全部落空。此外,同期钻探的9个中—小型构造也均告失利,勘探陷入低谷。

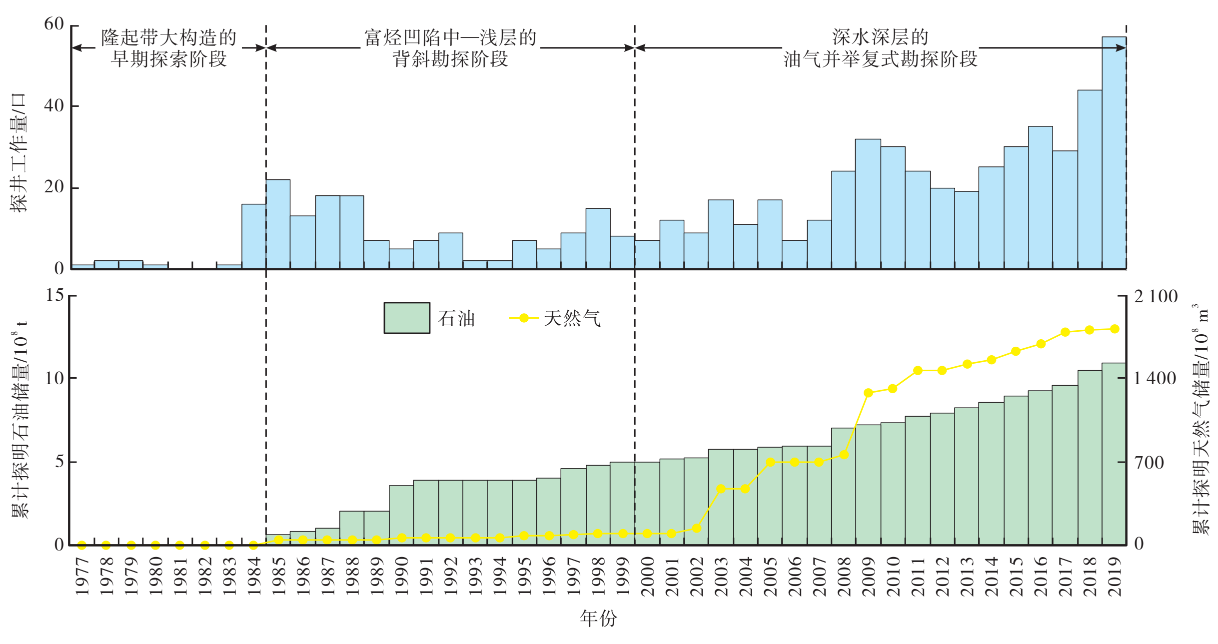


图2 珠江口盆地勘探阶段划分

Fig. 2 Division of exploration stages in Pearl River Mouth basin

2.2 围绕富烃凹陷中—浅层的背斜勘探阶段(1985—1999年)

提出“以富烃凹陷为中心,钻探逆牵引背斜和披覆背斜构造”的勘探战略,进入围绕富烃凹陷为主的勘探阶段。此阶段以对外合作勘探为主,自营勘探为辅。1985—1986年,发现了西江24-3、陆丰22-1、惠州21-1这3个大中型油田和一批中小型含油构造,证实了珠江口盆地的油气勘探潜力,其中,惠州21-1优质油气田的发现,揭开了珠江口盆地对外合作勘探开发油气田新的序幕。在“沿构造脊长距离运移成藏”理论的指导下,先后发现了流花11-1、流花4-1、陆丰13-1、陆丰13-2、陆丰15-1、陆丰22-1等油田,掀起了新一轮的勘探高潮。其中,1987年在东沙隆起上发现的流花11-1油田,是珠江口盆地发现的第一个亿吨级大油田,也是中国海域最大的生物礁滩油田。

围绕富烃凹陷的勘探思路,也推动了珠江口盆地西部的勘探。1995年钻探于琼海凹陷的WC8-3-1井在珠海组获得高产油气流,为珠三坳陷勘探找到一个突破点。此后围绕琼海凸起、珠三南断裂带西段、神狐隆起等展开研究和钻探工作,相继发现了文昌13-1、文昌13-2和文昌14-3油田。

进入90年代中后期,有利构造目标减少,勘探成效下降,油气发现规模越来越小。随着预探新区(西江凹陷、恩平凹陷)探井的落空以及探索深层探井的失利,勘探再次陷入低谷。

2.3 围绕深水深层的油气并举复式勘探阶段(2000年至今)

2000年以来,适时调整勘探策略,针对珠江口盆地最有潜力的勘探领域,开展了大量科研工作及勘探实践,积极开拓新区、新层系和新领域,开启了高效复式勘探阶段,形成了珠江口盆地勘探稳定发展的新局面。此阶段的油气勘探可分为浅水区天然气、深水区油气、浅层新区油气、深层古近系油气和中生界潜山油气5个部分。

2.3.1 浅水区天然气勘探

珠江口盆地的天然气勘探始于2001年,流花19-3含气构造的发现,证实了白云凹陷的生气潜力;2002—2004年,在“集束勘探”理念的指导下,向南拉开了珠江口盆地天然气勘探的序幕,陆续发现了番禺30-1大气田及番禺34-1、番禺35-1等气田。番禺—流花气田群的发现,进一步证实了珠江口盆地浅水区陆架边缘三角洲砂岩储集层天然气勘探的巨大潜力。

2.3.2 深水区油气勘探

白云凹陷深水区的勘探潜力多年来一直受到极大关注,凹陷北缘陆架区番禺30-1气田的发现,进一步促进了白云凹陷深水区的油气勘探。2006年钻探了第一口深水探井LW3-1-1井(水深1 500 m),发现了以珠江组深水扇优质砂岩为储集层的荔湾3-1大气田;随后又相继在水深超过1 000 m的深水区发现了流花29-1、流花34-2等大中型气田,掀起了深水天然气勘探的新高潮,珠江口盆地油气勘探呈现出油气并举的新局面,勘探领域初步实现了由浅水向深水的拓展。

伴随着深水区天然气勘探的重大发现,原油勘探也取得突破。白云凹陷深水区相继发现流花16-2、流花20-2和流花21-2油田。白云凹陷深水轻质油田

群的发现，揭示了白云凹陷原油的巨大潜力，拓展了白云凹陷深水区的勘探领域。

2.3.3　浅层新区油气勘探

恩平凹陷历经多年勘探，1983—2009年共计钻探10口井，始终未取得商业性突破。随后在地震处理、富烃凹陷识别、油气成藏定年等方面开展大量工作，提出了勘探突破口是新近系断圈构造。在“分带差异聚集”和“晚期多层充注”控藏理论指导下，对恩平18断背斜构造带浅层开展了整体评价，2010年首选恩平24-2构造钻探，拉开了恩平凹陷油气勘探的序幕，先后发现了恩平24-2、恩平18-1、恩平23-1等油田，实现了恩平凹陷浅层新近系油气勘探的突破。

阳江凹陷位于珠江口盆地珠三坳陷北部，在1992年到2011年对外合作期间，外方公司陆续在阳江凹陷及其外缘阳春低凸起、阳江低凸起构造圈闭钻探了8口井，均未获得规模储量发现。回归自营勘探后，围绕烃源岩，以“近凹勘探”的思路开展研究，2018年首选阳江东凹恩平20断背斜构造带作为突破区，发现了恩平20-4中型油田，实现了阳江凹陷新近系勘探的商业性突破，开辟了珠江口盆地新油区。

2.3.4　深层古近系油气勘探

陆丰凹陷古近系油气勘探取得突破。勘探实践表明，陆丰凹陷新近系储集层类型单一，有利构造圈闭大多已钻探完，而未钻圈闭资源量主要分布在深层古近系中，因此，围绕富生烃洼陷，进行新近系+古近系的复式勘探。遵循“源-汇-聚”的评价思路，2013年LF8-1-1井在恩平组钻遇厚油层，这是首次在陆丰凹陷恩平组发现油气；2014年钻探的LF14-4-1d井在文昌组获得商业性油气，发现了陆丰14-4油田，标志着古近系油气勘探在陆丰凹陷取得重要突破。

2.3.5　中生界潜山油气勘探

潜山是深层油气富集的一类特殊圈闭，勘探潜力巨大。惠州凹陷是珠江口盆地已证实的富油气分布区之一，已钻探井在中生界潜山见丰富油气显示，表明该区具备中生界潜山油气成藏条件。秉持“聚焦古近系-潜山，拓展领域”的勘探策略，提出“在富油洼陷找气”的新认识，重新评价惠州26洼陷，2019年优选惠州26-6构造实施钻探，在中生界潜山及古近系获得高产油气发现，揭开了惠州凹陷油气勘探新篇章，极大拓展了珠江口盆地中—深层油气勘探领域。

3　勘探启示

3.1　油气差异富集和复式聚集理论

珠江口盆地珠一坳陷已发现的油气田和含油构造，分布具有鲜明的不均匀性，油气藏成群成带集中在几个二级构造带上，呈现出某些区带“满带含油”，而某些区带非常贫瘠的特点，且个别二级构造带呈现出典型的油气复式聚集特征。研究认为，油气差异富集和复式聚集主要受2方面因素控制，一是富烃洼陷生烃能力，二是二级构造带分布特点[4-6]。

珠一坳陷中，各凹陷烃源岩的差异性是造成油气差异富集的根本原因。珠一坳陷古近系发育3幕裂陷旋回，相应发育了3套烃源岩，不同时期构造活动强度、古气候条件等的差异性，导致不同时期沉积中心、物源体系、湖盆水系营养水平、生烃母质类型等的不同，进而导致了3套烃源岩品质和规模的差异。主力烃源岩文昌组沉积时期，珠一坳陷构造活动强烈，湖盆水体营养丰富，因此有机碳含量高，有机质类型好；而该时期控洼断裂活动南强北弱，坳陷南部的洼陷相对发育，且水体深，面积大，因此文昌组优质烃源岩主要发育在坳陷南部的凹陷中。

多期构造叠合造就了珠一坳陷古近系和新近系二级构造带的继承性发育，不同油气汇聚单元的油气汇聚强度制约了油气的富集程度，位于优势运移指向上的二级构造带是油气聚集的有利场所。同时，圈闭形成期、生排烃高峰期和晚期断裂活动匹配，确保了二级构造带高效捕获油气。这些因素耦合，决定了位于汇聚优势指向上的二级构造带是油气复式聚集的主要场所，并且呈现多种类型的圈闭在横向上连片，垂向上叠置。

在油气差异富集和复式聚集理论的指导下，围绕惠州26、惠州21、西江24、陆丰13、番禺4和恩平17等富生烃洼陷，聚焦西江24潜山断裂构造带、恩平18断背斜构造带、惠南断裂复合圈闭带等油气复式聚集有利区，发现了一大批油田[4]，提高了勘探效率。

3.2　“多源成烃、复合输导、晚期成藏”模式

番禺低隆起的天然气具有“自源”和“他源”之分，自源生物气、亚生物气来自番禺低隆起珠海组海相烃源岩，他源成熟气或过成熟气来自白云凹陷或早期聚集的原油裂解气。白云凹陷存在3套烃源岩，即文昌组和恩平组陆相烃源岩及珠海组—珠江组海相烃源岩。文昌组和恩平组烃源岩以生气为主，珠海组烃源岩可能以生气为主并伴有生油，多套烃源岩形成多个排烃期。番禺低隆起的天然气既有生物气和亚生物气，也有油型气、煤成气和混合气，就是由于多源天然气的混和所致。

番禺低隆起具有包括断裂体系、输导砂体、构造脊、不整合面等在内的复合输导体系，保障了烃类较为广泛的输导范围和较长的输导距离，也导致了垂向上的越层输导，使古近系烃类能够运移至新近系。断

层、砂体、古构造脊在空间上的交替分布，构成了完整的立体式油气复合输导体系，其中，最大海泛泥岩之下广覆式连片分布的三角洲砂体，成为该区最重要的侧向输导体系。白云凹陷生成的天然气，凭借断层和砂体的接力式输导，得以长距离运移至番禺低隆起（图3），最终形成气田群[7]。

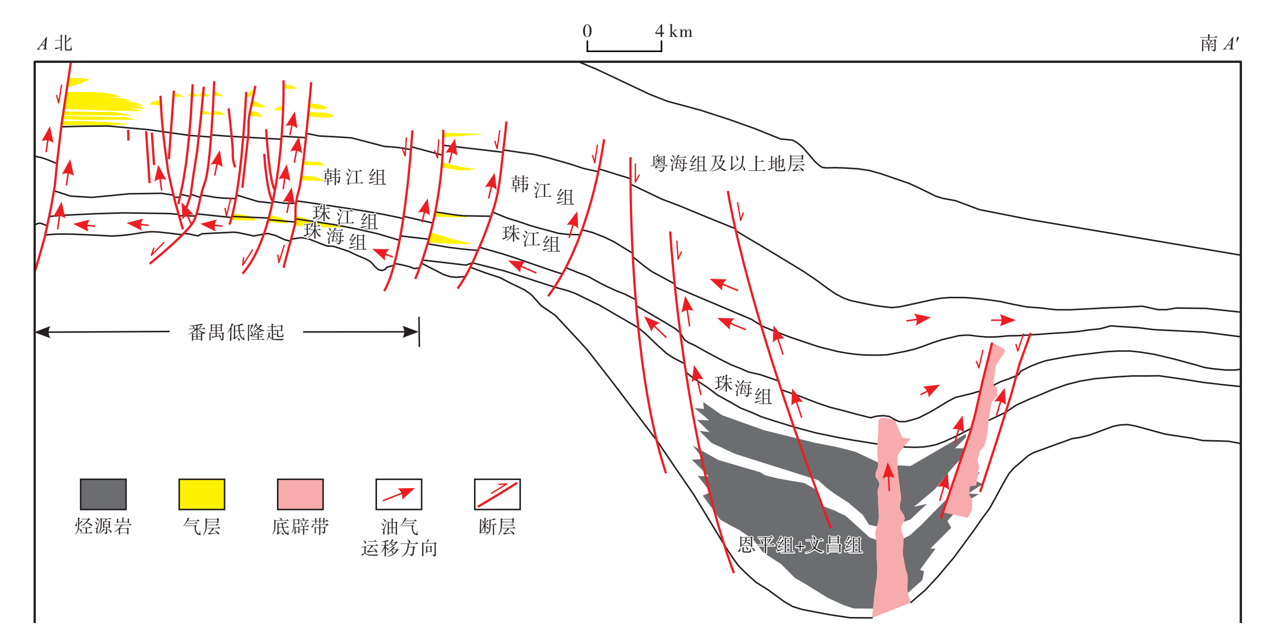


图3 珠江口盆地白云凹陷—番禺低隆起油气成藏模式示意图（据文献[7]，剖面位置见图1）

Fig. 3 Hydrocarbon accumulation model of Baiyun sag-Panyu low-bulge in Pearl River Mouth basin (according to Reference [7], profile loaction is shown in Fig.1)

番禺—流花地区具有超晚期气藏形成的地质条件。新近纪以来，白云凹陷一直处于主生烃期和排烃期，是天然气成藏的一个必要条件；东沙运动引起的断裂活动形成了大量与断层有关的圈闭，并提供了油气运移通道，对该区油气成藏具有重要的控制作用，是晚期油气成藏的另一个必要条件[8]。

“多源成烃、复合输导、晚期成藏”模式的认识，启示在该区以断层为依托，以晚期天然气运移路径为指向，寻找保存条件有利区勘探，推动发现了番禺—流花气田群。

3.3 深水区低位体系域深水扇复合沉积认识

早期对白云凹陷深水区的勘探，延续了浅水区珠一坳陷的研究模式，即以文昌组为烃源岩，新近系古珠江三角洲—滨岸沉积体系为储盖组合，具有古构造背景的大型构造圈闭为勘探目标，钻探的BY7-1-1井和PY33-1-1井相继失利，白云凹陷深水区的勘探陷入了困境。如何正确认识深水区成藏条件的特殊性，突破传统的浅水区勘探模式，成为白云凹陷深水区勘探的关键问题。

白云凹陷深水区与国际上已有重大油气发现的深水区（西非和墨西哥湾等）有许多重要的相同点，具有发育深水扇的地质条件。白云凹陷深水区位于古珠江入海口下倾方向，持续的南海扩张运动为沉积物卸载提供大量可容空间，盆地北部陆架区形成了多套高位海侵体系域三角洲沉积；随着海平面周期性升降，古珠江携带的沉积物在海平面下降期穿过陆架而进入古陆坡深水区沉积；同时，白云凹陷持续沉降使得新近系多个层序低位体系域垂向叠置，形成巨厚的低位体系域沉积。基于海平面变化规律以及陆缘沉积作用随相对海平面变化而迁移的认识，结合深水储集层识别及崎岖海底目标评价技术的应用，明确了深切谷—深水扇陆坡沉积系统，推动了白云凹陷深水区油气勘探的进程[9-10]。

对多层序低位体系域深水扇复合沉积系统的认识，推动了浅海陆架区向深水陆坡区的思维延伸，实现了对低位体系域陆坡深水扇的预测。荔湾3-1大气田的重大突破，证实了深水重力流沉积优质储集层的存在，开拓了珠江口盆地深水区油气勘探。

3.4 “源-汇-聚”综合评价体系

“源-汇-聚”评价体系是在珠江口盆地石油地质综合评价过程中逐步形成的，是基于成藏规律研究的勘探思想与方法体系，整合了含油气系统评价、成藏体系评价、分带差异富集、复式油气聚集带等，从“源”、“汇”、“聚”3个成藏要素出发，以“源”为中心，进行凹陷、半地堑和洼陷三级定量评价，落实油气资源量，圈定富生烃洼陷；以“汇”为纽带，研究输导体系及运汇单元，分析油气运移的方向、动力、强度、途径和边界，确定油气主要去向，明确勘探重点区域；以“聚”为目的，

开展二级构造带和圈闭综合评价，优选有利二级构造带并作整体解剖，综合开展目标排序和优选[11]（图4）。

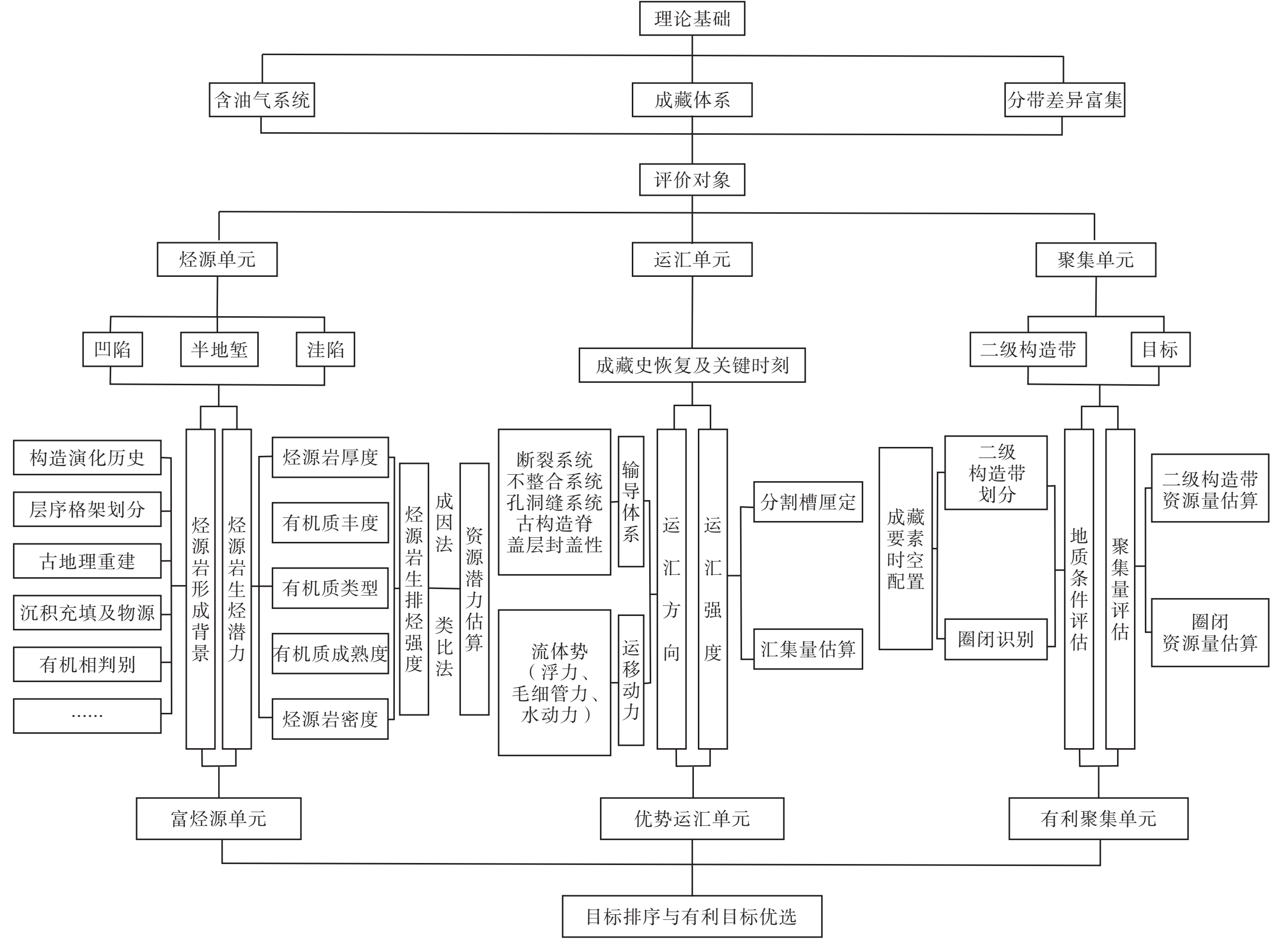


图4　“源-汇-聚”评价体系流程（据文献[11]）

Fig. 4.　Flow chart of “source-migration-accumulation” evaluation system (according to Reference [11])

陆丰凹陷是已证实的富生烃凹陷，凹陷内发育3个复式半地堑和5个洼陷，发育断背斜、潜山披覆、翘倾构造、斜坡等11个二级构造带。应用“源-汇-聚”评价体系，依据二级构造带距油源的距离和相对位置关系、断裂的走向与发育程度、输导体系、圈闭条件及油气资源潜力等要素，进行综合排序，选择富烃源单元、优势运汇单元和有利指向区带，进行优先勘探。综合多种因素，对11个二级构造带进行了整体评价，优选出陆丰13断裂鼻状构造带作为突破口，开展评价并实施钻探，LF14-4-1d井测试获高产工业油流，开拓了陆丰南地区古近系的油气勘探。陆丰14-4油田的发现，体现了“源-汇-聚”评价体系在珠江口盆地油气勘探中的实用性，提高了该区油气勘探的成功率。

3.5　古潜山“近源供烃、联合输导”成藏模式

惠州凹陷已发现油气主要集中分布在惠西地区的惠州26洼陷、西江30洼陷和西江24洼陷，是珠江口盆地已证实的富油气分布区之一。随着新近系勘探难度的增大，寻求中—深层新勘探突破成为新的勘探方向。通过对惠西南地区地质条件加强研究攻关，在潜山形成机理、烃源潜力、储集层类型和成藏条件方面取得了新认识，优选惠州26-6构造作为油气勘探突破点[12-13]。

惠州26洼陷文昌组发育深湖—半深湖相烃源岩，具有油气兼生、晚期快速生气的特征，且排烃强度大，天然气资源潜力大。惠州26-6构造中生界潜山下部直接对接烃源岩（图5），加之烃源岩内部生烃超压作用，使中生界潜山具备近源强势供烃的优势。

惠州26-6构造发育长期活动的控洼断裂，直接沟通中—深层高成熟烃源岩，活动强度大、持续时间长，切割烃源岩厚度大，与烃源时空匹配良好，利于生成油气的垂向运移；同时，先存断裂继承性活动造成基岩潜山内部断裂发育，形成连通的网状裂缝体系；另外，潜山顶部发育风化溶蚀孔缝带。断裂、内幕裂缝和溶蚀孔缝三者联合为油气运移提供良好的输导通道，同时为油气聚集提供优质储集空间[14]。

“近源供烃、联合输导”成藏模式推动了惠州26-6油气田的重大突破，证实了中—深层具有充足气源，在控洼断裂和网状裂缝体系控制下，可形成“上生

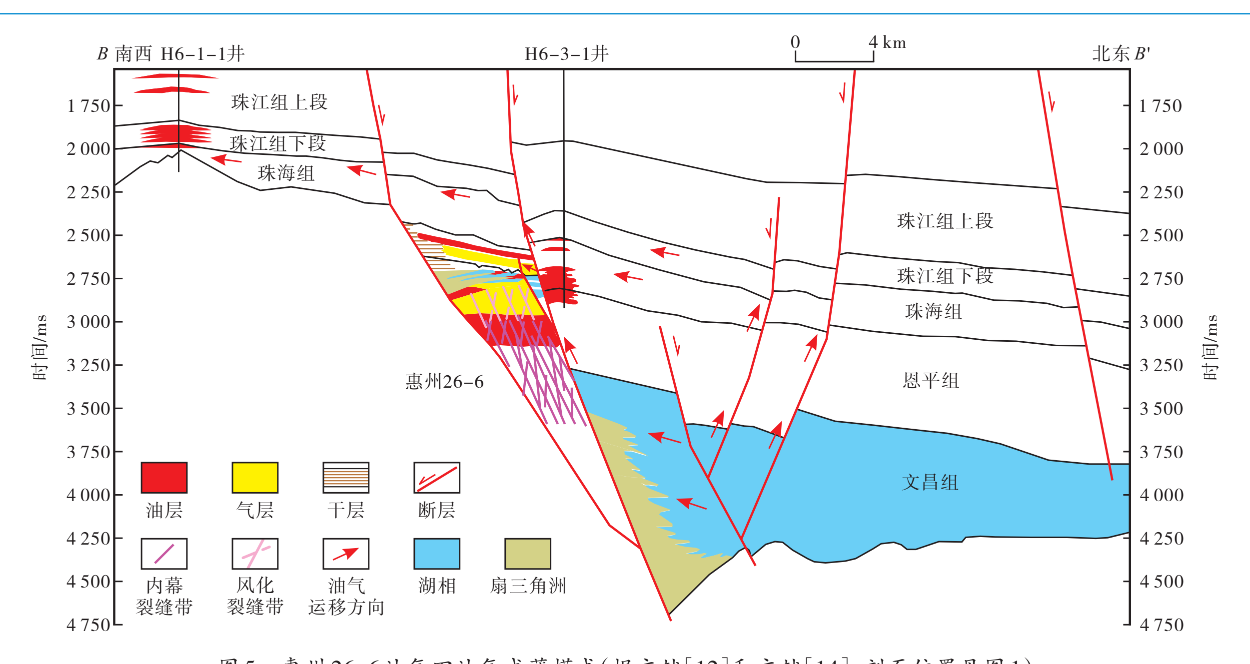


图5 惠州26-6油气田油气成藏模式(据文献[12]和文献[14],剖面位置见图1)

Fig. 5 Hydrocarbon accumulation model of Huizhou 26-6 oil and gas field (according to Reference [12] & [14], profile loaction is shown in Fig.1)

下储、新生古储"油气藏,展示出"中生界潜山—古近系"领域的广阔前景,也为珠江口盆地浅水区富油凹陷中寻找气田提供了参考。

4 结论

(1)珠江口盆地油气勘探主要经历了3个阶段:围绕隆起带大构造的早期探索阶段(1974—1984年)、围绕富烃凹陷中—浅层的背斜勘探阶段(1985—1999年)和围绕深水深层的油气并举复式勘探阶段(2000年至今)。

(2)珠江口盆地油气勘探实践证实,地质认识创新和勘探策略引领是储量持续发现的保障。油气差异富集和复式聚集理论、沿构造脊长距离运移模式、低位体系域深水扇认识、"源-汇-聚"综合评价体系、"近源供烃、联合输导"成藏模式等理论认识有效指导了珠江口盆地油气勘探持续获得突破。

(3)勘探实践证实,珠江口盆地油气成藏与富烃凹(洼)陷密切相关,下一步的勘探工作重点仍是"围绕富烃凹(洼)陷、寻找大中型油气田",在已证实的富烃凹(洼)陷坚持以复式油气勘探理念为指导,实现二级构造带立体式饱和勘探,即中—浅层与深层、构造与地层岩性、常规与非常规并重;在未证实的地区加大研究力度,积极探索新区以寻找潜在的富烃凹(洼)陷,实现储量的快速增长。

参考文献:

[1] 谢玉洪,高阳东. 中国海油近期国内勘探进展与勘探方向[J]. 中国石油勘探,2020,25(1):20–30.
XIE Yuhong, GAO Yangdong. Recent domestic exploration progress and direction of CNOOC[J]. China Petroleum Exploration, 2020,25(1):20–30.

[2] 朱伟林. 中国近海油气勘探的回顾与思考[J]. 中国工程科学,2011,13(5):4–9.
ZHU Weilin. China offshore oil and gas exploration: review and thinking[J]. Strategic Study of Chinese Academy of Engineering, 2011,13(5):4–9.

[3] 朱伟林,米立军. 中国海域含油气盆地图集[M]. 北京:石油工业出版社,2010.
ZHU Weilin, MI Lijun. Altas of oil and gas basins, China sea[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010.

[4] 施和生. 论油气资源不均匀分布与分带差异富集:以珠江口盆地珠一坳陷为例[J]. 中国海上油气,2013,25(5):1–8.
SHI Hesheng. On heterogeneous distribution and differential enrichmentby zones of hydrocarbon resources: a case in Zhu I depression, Pearl River Mouth basin[J]. China Offshore Oil and Gas, 2013,25(5):1–8.

[5] 施和生,代一丁,刘丽华,等. 珠江口盆地珠一坳陷油气藏地质特征与分布发育基本模式[J]. 石油学报,2015,36(增刊2):120–133.
SHI Hesheng, DAI Yiding, LIU Lihua, et al. Geological characteristics and distribution model of oil and gas reservoirs in Zhu Ⅰ depression, Pearl River Mouth basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(Supp.2):120–133.

[6] 杜晓东,彭光荣,吴静,等. 珠江口盆地阳江东凹断层特征及其对油气成藏的影响[J]. 新疆石油地质,2020,41(4):414–421.
DU Xiaodong, PENG Guangrong, WU Jing, et al. Faults and its impacts on petroleum accumulation in eastern Yangjiang sag, Pearl River Mouth basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2020, 41(4): 414–421.

(下转第363页)